

Квантовые вычисления на языке Q#

Александр Лаптев

15 мая 2019 г.

План

- ▶ Чуть-чуть истории
- ▶ Что такое КВ, и зачем они в .NET?
- ▶ Много теории
- ▶ Минимум практики
- ▶ Перспективы

Исторический экскурс

- ▶ 1984. Манин
Фейнман – идея квантовых компьютеров.
- ▶ 1992. Дойч – первый пример «квантового превосходства».
- ▶ 1994. Шор – решена проблема факторизации.
- ▶ 1996. Гровер – универсальный метод для решения NP задач.

Три кита квантовых вычислений

- ▶ Физика.
- ▶ Математика
 - ▶ Прикладная (алгоритмы)
 - ▶ Квантовая модель (ограниченное перемножение матриц)
- ▶ Схемы
 - ▶ Впихиваем алгоритмы, разработанные математиками, в машины, разработанные физиками.

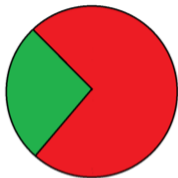
База квантовых вычислений

- ▶ Кубит
- ▶ Суперпозиция
- ▶ Операторы
- ▶ Запутанность
- ▶ Параллелизм

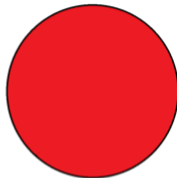
Кубит и суперпозиция



50/50

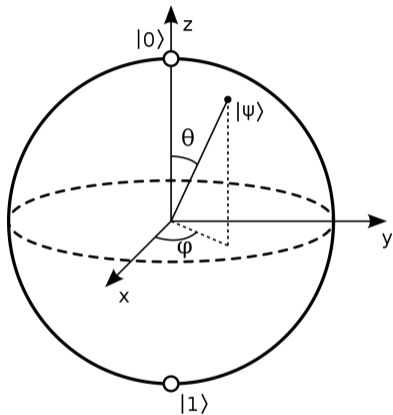


25/75



0/100

Ограничения и особенности суперпозиции



$$q = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle,$$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1,$$

$$\alpha, \beta \in \mathbb{C}$$

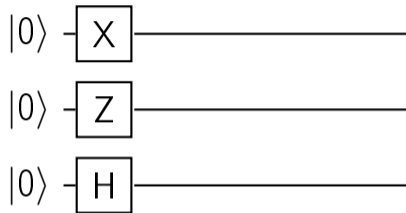
Операторы в КВ: примеры

$$X : (\alpha, \beta) \rightarrow (\beta, \alpha)$$

$$Z : (\alpha, \beta) \rightarrow (\alpha, -\beta)$$

$$H : (\alpha, \beta) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha + \beta, \alpha - \beta)$$

Операторы в КВ: квантовые схемы



Оператор Адамара

$$H : (\alpha, \beta) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha + \beta, \alpha - \beta)$$

$$HZH|0\rangle = |1\rangle$$

$$HZH|1\rangle = |0\rangle$$

$$HH|q\rangle = |q\rangle$$

Операторы: немного математики

$$Op(|0\rangle) \rightarrow K_{00}|0\rangle + K_{01}|1\rangle$$

$$Op(|1\rangle) \rightarrow K_{10}|0\rangle + K_{11}|1\rangle$$

$$\begin{aligned} Op : \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle &\rightarrow \\ \alpha(K_{00}|0\rangle + K_{01}|1\rangle) + & \\ \beta(K_{10}|0\rangle + K_{11}|1\rangle) & \end{aligned}$$

Операторы: матрицы

$$Op : \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \rightarrow$$

$$\alpha(K_{00}|0\rangle + K_{01}|1\rangle) +$$

$$\beta(K_{10}|0\rangle + K_{11}|1\rangle)$$

$$\begin{bmatrix} K_{00} & K_{01} \\ K_{10} & K_{11} \end{bmatrix}$$

Оператор Адамара

$$H : (\alpha, \beta) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha + \beta, \alpha - \beta)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Стоп-стоп. Зачем так много всего?

- ▶ Векторы, сфера Блоха, матрицы, схемы?

Стоп-стоп. Зачем так много всего?

- ▶ Векторы, сфера Блоха, матрицы, схемы?
 - ▶ Сфера Блоха. Подходит для описания одного кубита.

Стоп-стоп. Зачем так много всего?

- ▶ Векторы, сфера Блоха, матрицы, схемы?
 - ▶ Сфера Блоха. Подходит для описания одного кубита.
 - ▶ Вектор.
 - ▶ Отлично подходит для описания состояния нескольких кубитов.
 - ▶ Активно используется в доказательствах алгоритмов.

Стоп-стоп. Зачем так много всего?

- ▶ Векторы, сфера Блоха, матрицы, схемы?
 - ▶ Сфера Блоха. Подходит для описания одного кубита.
 - ▶ Вектор.
 - ▶ Отлично подходит для описания состояния нескольких кубитов.
 - ▶ Активно используется в доказательствах алгоритмов.
 - ▶ Матрица.
 - ▶ Активно используется в доказательствах алгоритмов.
 - ▶ Наглядно описывает действия операторов.

Стоп-стоп. Зачем так много всего?

- ▶ Векторы, сфера Блоха, матрицы, схемы?
 - ▶ Сфера Блоха. Подходит для описания одного кубита.
 - ▶ Вектор.
 - ▶ Отлично подходит для описания состояния нескольких кубитов.
 - ▶ Активно используется в доказательствах алгоритмов.
 - ▶ Матрица.
 - ▶ Активно используется в доказательствах алгоритмов.
 - ▶ Наглядно описывает действия операторов.
 - ▶ Схема
 - ▶ Наглядно.
 - ▶ Минимум цифр.

Демонстрация

- ▶ Получаем рандомный бит
- ▶ Попробуем получить 128 случайный битов – на Guid.

Вопросы?

Запутанность: математика.

$$(\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle)$$

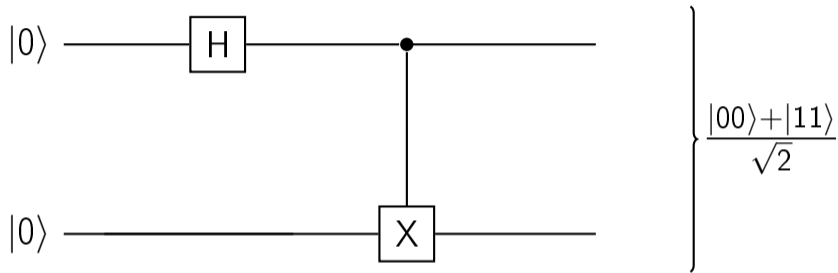
↓

$$(\alpha'|00\rangle + \beta'|01\rangle + \gamma'|10\rangle + \delta'|11\rangle)$$

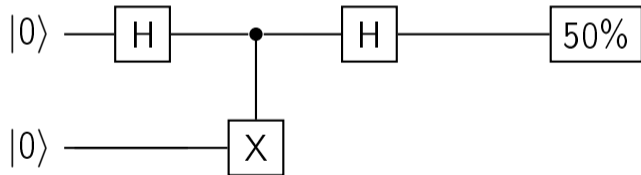
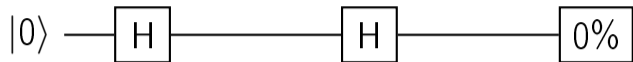
Запутанность: матрицы.

$$\begin{bmatrix} K_{00} & K_{01} & K_{02} & K_{03} \\ K_{10} & K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{20} & K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{30} & K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \delta \end{bmatrix}$$

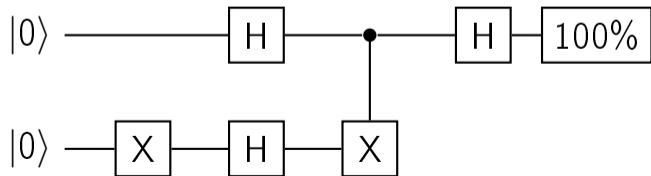
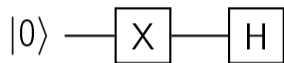
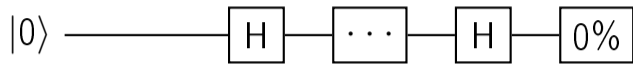
Запутанность: контролируемые кубиты.



Запутанность: воздействие на контролёра



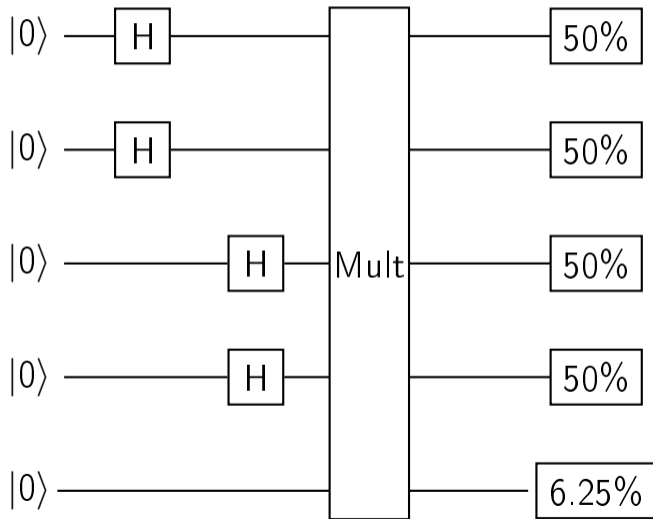
Алгоритм Дойча



Алгоритм Дойча-Йожи:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Параллелизм



«Типовой» квантовый алгоритм

Иницилируем кубиты Адамаром

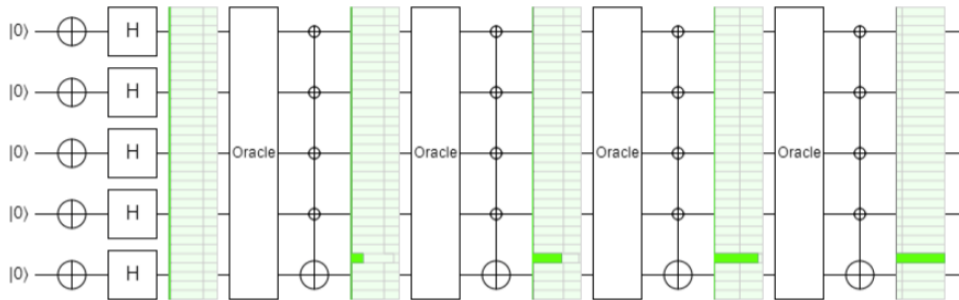
Применяем черный ящик

Повторяем N раз

...

Profit!!!

Усиление амплитуды



Что нам грозит в свете КВ?

- ▶ Ошибки. И их коррекция.

Про коррекцию ошибок

- ▶ Схоже с регенерацией памяти. Состояние кубита может меняться. Он может «самоизмериться».
- ▶ Почему состояние трудно восстановить?
- ▶ Какие нынче требования по стабильности кубитов?

Что нам грозит в свете КВ?

- ▶ Ошибки. И их коррекция.
- ▶ Удвоение кубитов каждый год.
- ▶ Архитектура процессора.
- ▶ Практика. Еще не все биткоины добыты, кое-где по-прежнему используют ГПСЧ.
- ▶ Возможно, жуткое разочарование – по некоторым прогнозам, КВ не взлетит.

Ссылки

- ▶ Курсера [EN/RU](#)
- ▶ [Документация Q#](#)
- ▶ [MSDN](#)
- ▶ Книга: детали Q# (Mike and Ike)
- ▶ [Блог En](#)
- ▶ [Блог Ru](#)